



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110620324 B

(45) 授权公告日 2021.08.31

(21) 申请号 201910971378.9

(22) 申请日 2019.10.14

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 110620324 A

(43) 申请公布日 2019.12.27

(73) 专利权人 华东师范大学重庆研究院
地址 401120 重庆市渝北区卉竹路2号1号
楼1-2层1、2号房

专利权人 华东师范大学 上海理工大学
上海朗研光电科技有限公司

(72) 发明人 曾和平 杨康文 郑世凯

(74) 专利代理机构 重庆德创至道知识产权代理
事务所(普通合伙) 50245
代理人 陈先权

(51) Int.Cl.

H01S 3/10 (2006.01)

H01S 3/106 (2006.01)

H01S 3/11 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 108963748 A, 2018.12.07

CN 1983746 A, 2007.06.20

CN 104218438 A, 2014.12.17

CN 1635672 A, 2005.07.06

CN 206864861 U, 2018.01.09

CN 109698459 A, 2019.04.30

US 6078606 A, 2000.06.20

JP S5577187 A, 1980.06.10

审查员 赵星

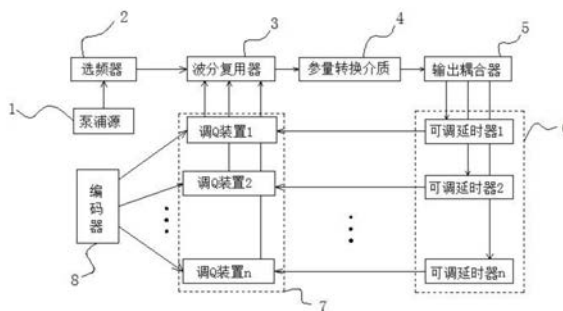
权利要求书1页 说明书4页 附图3页

(54) 发明名称

一种动态调Q的有理数谐振多波长编码方法

(57) 摘要

本发明公开了一种动态调Q的有理数谐振多波长编码方法,包括依次连接的泵浦源,选频器,由1*(n+1)波分复用器,参量转换介质,1*(n+1)输出耦合器,n个可调延时器和n个调Q装置组成n路反馈的参量振荡腔,以及编码器。本发明在不改变振荡器腔长的情况下,只通过选频器对泵浦源输出的泵浦光进行选频依然能实现参量振荡器的稳定振荡。另外将反馈信号光根据波长不同分成n路反馈,使n个波长同时在振荡腔内振荡,从而获得多波长输出。在振荡器腔n路反馈中各添加一个调Q装置,通过改变各路腔内的损耗与谐振阈值,实现多种时域的调制波形,进而实现动态调Q的有理数谐振多波长编码。



1. 一种动态调Q的有理数谐振多波长编码方法,其特征在于:包括泵浦源(1)、选频器(2)及组成多路反馈参量振荡腔的波分复用器(3)、参量转换介质(4)、输出耦合器(5)、多个可调延时器、多个调Q装置(7);

泵浦源(1)输出的泵浦光依次经选频器(2)和波分复用器(3)进入参量振荡腔,所述选频器(2)为声光调制器,用于对所述泵浦源(1)输出的激光脉冲进行选频,获得预定的重复频率;

泵浦光在所述参量转换介质(4)中发生四波混频效应,产生一束比泵浦光波长短的信号光和一束比泵浦光波长长的闲频光;

所述输出耦合器(5)将所述参量转换介质(4)输出光中一部分光直接输出,另一部分输出光根据波长的不同形成多路反馈光;

每路反馈光依次通过一个所述可调延时器(6)和一个所述调Q装置(7),并返回所述波分复用器(3);

多个所述调Q装置(7)均连接有编码器(8),所述编码器(8)用于控制所述调Q装置(7)调制振荡腔的Q值。

2. 根据权利要求1所述的一种动态调Q的有理数谐振多波长编码方法,其特征在于:所述泵浦源(1)为固体激光器或光纤激光器,可输出固定重复频率的激光脉冲。

3. 根据权利要求1所述的一种动态调Q的有理数谐振多波长编码方法,其特征在于:所述波分复用器(3)为具有合束作用的 $1*(n+1)$ 波分复用器,用于将所述泵浦源(1)产生的激光和多路反馈光耦合进入所述参量振荡腔。

4. 根据权利要求1所述的一种动态调Q的有理数谐振多波长编码方法,其特征在于:所述参量转换介质(4)为非线性光纤,用于将泵浦光进行频率转换,并且将反馈光信号进行参量放大,弥补了反馈光信号在振荡中的损耗。

5. 根据权利要求1所述的一种动态调Q的有理数谐振多波长编码方法,其特征在于:所述输出耦合器(5)为 $1*(n+1)$ 耦合器,用于将输入光分束后输出。

6. 根据权利要求1所述的一种动态调Q的有理数谐振多波长编码方法,其特征在于:所述可调延时器(6)为单模光纤或保偏光纤,使反馈光与泵浦光到达波分复用器(3)时重合。

7. 根据权利要求1所述的一种动态调Q的有理数谐振多波长编码方法,其特征在于:所述调Q装置(7)为电光调Q开关或声光调Q开关,用来调节振荡腔内的Q值。

一种动态调Q的有理数谐振多波长编码方法

技术领域

[0001] 本发明涉及超快激光和激光技术领域,具体涉及一种动态调Q的有理数谐振多波长编码方法。

背景技术

[0002] 相干反斯托克斯拉曼散射(CARS)显微镜通过利用生物组织固有分子振动进行三维成像,具有高方向性、高灵敏度、高特异性、高分辨率、三维切片能力,无需标记和无光致损伤等特点。由于CARS系统的性能很大程度上取决于其光源的特性,因此越来越多的努力致力于开发时间同步,空间重叠和波长可调的超快激光器。

[0003] 光学参量振荡器(OPO)具有鲁棒性,紧凑性和低损耗等优点,并且OPO能够输出时间同步,空间重叠和波长可调超快脉冲激光,这刚好符合CARS显微镜对光源的要求,因此近年来将OPO用于CARS显微成像光源成为该领域的研究热点。

[0004] OPO成为目前CARS显微镜广泛使用的光源,但随着CARS显微成像技术的发展,该技术对光源提出了新的要求。经过研究,人们发现在CARS显微成像中对于密度较小的生物样品,适合采用高重复率(20-80MHz)的超快激光脉冲;对于通常用于研究动作电位和神经冲动的传递的髓鞘等致密样品,由于光损伤减少,更适合采用具有几MHz的低重复率的激光脉冲。在进行同时对多种物质CARS成像时,需要CARS显微镜光源能同时提供多种时间同步,空间重叠的超快激光。虽然超连续谱满足进行同时对多种物质CARS成像的要求,但其缺乏光谱能量密度和峰值功率,不适用于快速CARS成像。因此继续在OPO上进行适当的改进以满足进行同时对多种物质CARS成像对光源的要求。

发明内容

[0005] 针对上述现有技术中的不足之处,本发明提供一种动态调Q的有理数谐振多波长编码方法,其该光参量振荡器实现有理数谐振,达到改变重复频率的目的,实现对多路振荡腔的损耗同时进行动态调制,以达到多波长编码的目的。

[0006] 为了达到上述目的,本发明采用了以下技术方案:

[0007] 一种动态调Q的有理数谐振多波长编码方法,其特征在于:包括泵浦源、选频器及组成多路反馈参量振荡腔的波分复用器、参量转换介质、输出耦合器、多个可调延时器、多个调Q装置;

[0008] 泵浦源输出的泵浦光依次经选频器和波分复用器进入参量振荡腔;

[0009] 泵浦光在所述参量转换介质中发生四波混频效应,产生一束比泵浦光波长短的信号光和一束比泵浦光波长长的闲频光;

[0010] 所述输出耦合器将所述参量转换介质输出光中一部分光直接输出,另一部分输出光根据波长的不同形成多路反馈光;

[0011] 每路反馈光依次通过一个所述可调延时器和一个所述调Q装置,并返回所述波分复用器;

- [0012] 多个所述调Q装置均连接有编码器,所述编码器用于控制所述调Q装置调制振荡腔的Q值。
- [0013] 进一步地,所述泵浦源为固体激光器或光纤激光器,可输出固定重复频率的激光脉冲。
- [0014] 进一步地,所述选频器为声光调制器,用于对所述泵浦源输出的激光脉冲进行选频,获得预定的重复频率。
- [0015] 进一步地,所述波分复用器为具有合束作用的 $1*(n+1)$ 波分复用器,用于将所述泵浦源产生的激光和多路反馈光耦合进入所述参量振荡腔。
- [0016] 进一步地,所述参量转换介质为非线性光纤,用于将泵浦光进行频率转换,并且将反馈光信号进行参量放大,弥补了反馈光信号在振荡中的损耗。
- [0017] 进一步地,所述输出耦合器为 $1*(n+1)$ 耦合器,用于将输入光分束后输出。
- [0018] 进一步地,所述可调延时器为单模光纤或保偏光纤,使反馈光与泵浦光到达波分复用器时重合。
- [0019] 进一步地,所述调Q装置为电光调Q开关或声光调Q开关等调Q器件,用来调节振荡腔内的Q值。
- [0020] 本发明的有益效果包括:1.通过n个调Q装置调制,实现多个波长的同时谐振。
- [0021] 2.通过控制每路反馈的调Q装置,可实现每个波长时域编码。
- [0022] 3.通过控制每路反馈的调Q装置,可实现每个波长重复频率编码。
- [0023] 4.通过控制每路反馈的调Q装置,可实现波长调制。
- [0024] 5.通过延时器色散的作用,反馈脉冲时域宽度大于泵浦脉冲,基于色散滤波效应,实现输出光谱可调谐和窄谱输出。
- [0025] 6.通过有理数谐振实现重复频率的灵活调谐。
- [0026] 7.可采用全保偏光纤结构,获得稳定光参量振荡器。
- [0027] 8.若该光参量振荡器采用光纤结构,则可实现结构紧凑的光参量振荡器。

附图说明

- [0028] 图1是本发明的结构原理图;
- [0029] 图2是本发明实施例一的谐振示意图;
- [0030] 图3是本发明实施例二的谐振示意图;
- [0031] 图4是本发明的空间结构原理图;
- [0032] 图5是本发明的光纤结构原理图。

具体实施方式

- [0033] 下面结合具体实施例及附图来进一步详细说明本发明。
- [0034] 一种如图1所示一种动态调Q的有理数谐振多波长编码方法,其结构包括泵浦源1、选频器2以及由波分复用器3、参量转换介质4、输出耦合器5、多个可调延时器6和多个调Q装置7组成的多路反馈的参量振荡腔,还包括编码器8。其中泵浦源1输出端与选频器2输入端相连接;选频器2输出端连着波分复用器3输入端之一,本实施例中的波分复用器3选用为 $1*(n+1)$ 波分复用器;波分复用器3接着与参量转换介质4相连接,参量转换介质4连着输出耦

合器5,所述输出耦合器5选用为 $1*(n+1)$ 输出耦合器;输出耦合器5有 $n+1$ 输出端,它的其中一端作为本振荡器输出端,另外 n 个输出端可根据不同波长形成 n 路输出并分别与 n 路可调延时器6相连接;每一路可调延时器6再与调Q装置7相连接,每一路调Q装置7再与波分复用器3的另一输入端相连接,形成反馈。编码器8分别与每一路的调Q装置7连接,用于调制 n 路振荡腔的Q值。

[0035] 由泵浦源1输出的具有固定重复频率泵浦光经选频器2传输至波分复用器3。选频器2用来对泵浦源1输出的泵浦光进行选频。经选频器2选频后的泵浦光再经波分复用器3进入参量转换介质4,泵浦光在参量转换介质4中发生四波混频效应,产生一束比泵浦光波长短的信号光,一束比泵浦光波长长的闲频光;泵浦光还和反馈的信号光在参量转换介质4中发生参量放大,从而补偿反馈信号在振荡中的损耗形成稳定振荡。输出耦合器5一端将部分光输出,另外 n 个输出端可根据不同波长形成 n 路输出并分别与 n 路可调延时器6相连接将部分光反馈,反馈光经 n 个调Q装置7再经 $1*(n+1)$ 波分复用器返回参量振荡腔。编码器8分别与 n 个调Q装置7连接,用于调制 n 路振荡腔的Q值达到本发明有理数谐振及多波长编码的目的。

[0036] 实施例一

[0037] 如图2所示,包括三路反馈,通过编码器8同时对三个调Q装置7控制,使三路振荡腔内Q值分别如图2所示;在 Q_1, Q_2, Q_3 三种Q值调制下 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 谐振脉冲如图2所示。 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 组合形成本发明输出谐振脉冲序列 λ_0 。通过如图2所示的Q值调制,使 λ_1 重复频率为 f, λ_2 重复频率为 $2f, \lambda_3$ 重复频率为 $4f$ 。 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 脉冲序列第一个脉冲在时间上同步,空间上重叠形成 λ_0 第一个脉冲, λ_0 第一个脉冲包含 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 三种波长;从图中可以看出 λ_0 第二个脉冲只包含 λ_3 一种波长; λ_0 第三个脉冲包含 λ_2, λ_3 两种波长; λ_0 第四个脉冲只包含 λ_3 一种波长,第五个脉冲又包含 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 三种波长,从而形成一个周期性变化的脉冲序列。此种Q值编码情况下, $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 各脉冲强度一致,因此输出谐振脉冲 λ_0 各脉冲强度不一致,包含波长越多的脉冲,强度越强。

[0038] 实施例二

[0039] 如图3所示,通过编码器8同时对三个调Q装置7控制,使三路振荡腔内Q值分别如图3所示,在 Q_1, Q_2, Q_3 三种Q值调制下 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 谐振脉冲如图3所示。此种Q值编码情况下, $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 各脉冲强度做周期性动态调制,使得输出脉冲 λ_0 各脉冲强度一致,结果如图3所示。

[0040] 图2和图3展示的是三路反馈的情况,此种情况下输出脉冲 λ_0 最多包含 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 三种谐振波长,再加上剩余的泵浦光 λ_p ,所以输出脉冲 λ_0 总共包含 $\lambda_p, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 四种波长。根据CARS显微成像条件,两种不同波长可对一种物质进行成像,四种波长两两有以下六种组合 $\lambda_p \lambda_1, \lambda_p \lambda_2, \lambda_p \lambda_3, \lambda_1 \lambda_2, \lambda_1 \lambda_3, \lambda_2 \lambda_3$,则其可用于同时对六种不同物质进行成像。如有 n 路反馈,输出脉冲 λ_0 最多包含 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$ 共 n 种谐振波长,再加上剩余的泵浦光 λ_p ,所以输出脉冲 λ_0 总共包含 $n+1$ 种波长,总共有 $n*(n+1)/2$ 种两两组合方式,因而其可用于同时对 $n*(n+1)/2$ 种不同物质进行成像。

[0041] 如图4所示为本发明的一种常用部件组成的空间结构原理图。

[0042] 此装置包括作为泵浦源的钛宝石激光器、用于选频的声光调制器(AOM)、以及由二向色镜(DM)、参量转换介质(PPLN)晶体、输出耦合器(OC)、可调延时装置和调Q装置组成的参量振荡腔、编码器。

[0043] 其中钛宝石激光器输出波长为1064nm,重复频率为50MHz的激光脉冲,经AOM选频

后激光重复频率降为2MHz,泵浦光经二向色镜DM进入PPLN晶体。波长为1064nm的泵浦光在PPLN晶体内发生四波混频效应,产生一束比泵浦光波长短的信号光,一束比泵浦光波长长的闲频光。OC将部分信号光透射输出,另外一部分根据不同波长形成n路输出并分别与n个可调延时装置相连接,反馈光经n个可调延时装置后再经n个调Q装置和DM反馈回PPLN晶体。将振荡腔的重复频率固定为2MHz,因此可调延时装置延时时间如1式

$$[0044] \quad T = \frac{1}{f_p} = \frac{1}{2 \text{ MHz}} = 500 \text{ ns} \quad (1)$$

[0045] 为了让反馈的信号光与泵浦光到DM时重合,并与泵浦光在PPLN晶体内发生参量放大效应,从而补偿反馈光信号在振荡中的损耗。振荡腔中的n个调Q装置受编码器控制,改变腔内的损耗与谐振阈值,实现多种时域的调制波形,达到本发明有理数谐振及多波长编码的目的。

[0046] 如图5所示为本发明常用的光纤结构原理图。

[0047] 此装置包括作为泵浦源的光纤激光器、用于选频的声光调制器(AOM)、以及由1*(n+1)波分复用器(WDM)、光子晶体光纤(PCF)、1*(n+1)输出耦合器(Coupler)、n路可调延时光纤和n个调Q装置组成的参量振荡腔、编码器。

[0048] 其中泵浦源的光纤激光器输出波长为1030nm,重复频率为20MHz的激光脉冲,经AOM选频后激光重复频率降为2MHz,泵浦光经1*(n+1)WDM进入PCF。波长为1030nm的泵浦光在PCF内发生四波混频效应,产生一束比泵浦光波长短的信号光,一束比泵浦光波长长的闲频光。1*(n+1)Coupler将部分信号光透射输出,另外一部分根据不同波长形成n路输出并分别与n路可调延时光纤相连接,反馈光经n路可调延时光纤后再经n个调Q装置和1*(n+1)WDM反馈回PCF。将振荡腔的重复频率固定为2MHz,因此可调延时光纤长度由下面公式求得:

$$[0049] \quad L = \frac{c}{f_c n} \quad (2)$$

[0050] 式中,c为光速, f_c 为振荡腔重复频率,n为延时光纤折射率。

[0051] 本发明的一种实施例中 $n=1.5$, $f_c=2\text{MHz}$, $c=3*10^8\text{m/s}$,计算得到延时光纤长度为100米,是为了让反馈的信号光与泵浦光在进入光子晶体光纤时重合,并与泵浦光在PCF内发生参量放大效应,从而补偿反馈光信号在振荡中的损耗。振荡腔中的n个调Q装置受编码器控制,改变腔内的损耗与谐振阈值,实现多种时域的调制波形,达到本发明有理数谐振及多波长编码的目的。

[0052] 以上对本发明实施例所提供的技术方案进行了详细介绍,本文中应用了具体个例对本发明实施例的原理以及实施方式进行了阐述,以上实施例的说明只适用于帮助理解本发明实施例的原理;同时,对于本领域的一般技术人员,依据本发明实施例,在具体实施方式以及应用范围上均会有改变之处,综上所述,本说明书内容不应理解为对本发明的限制。

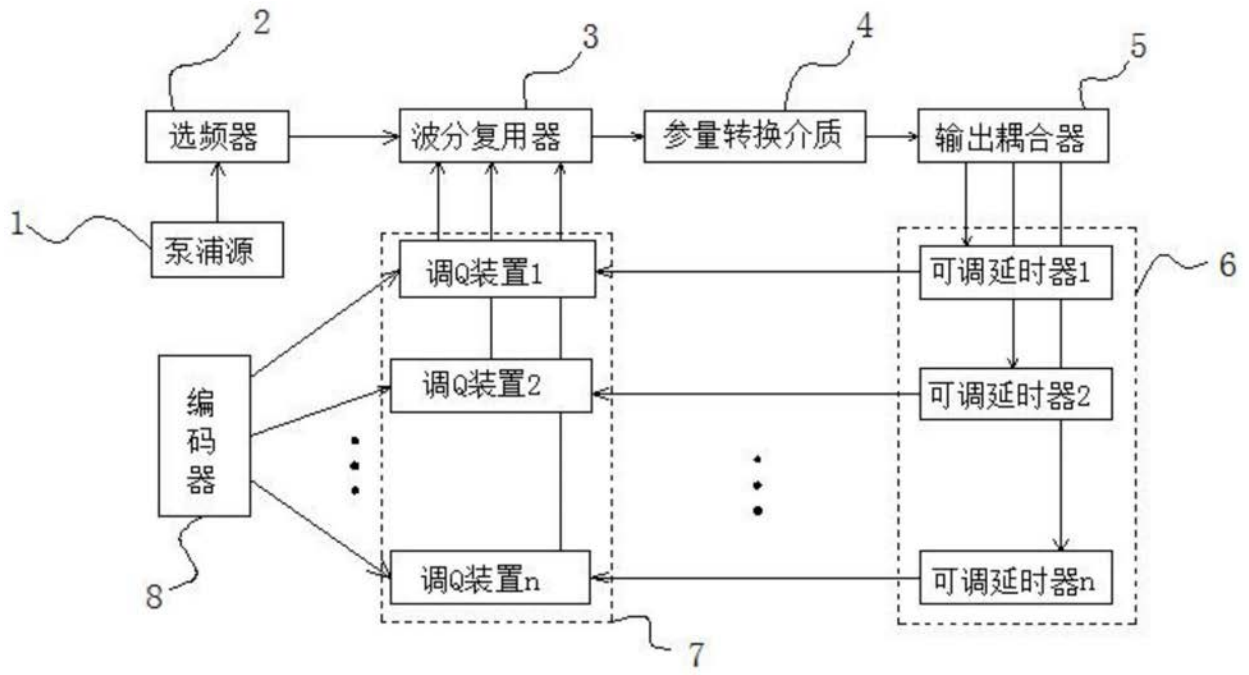


图1

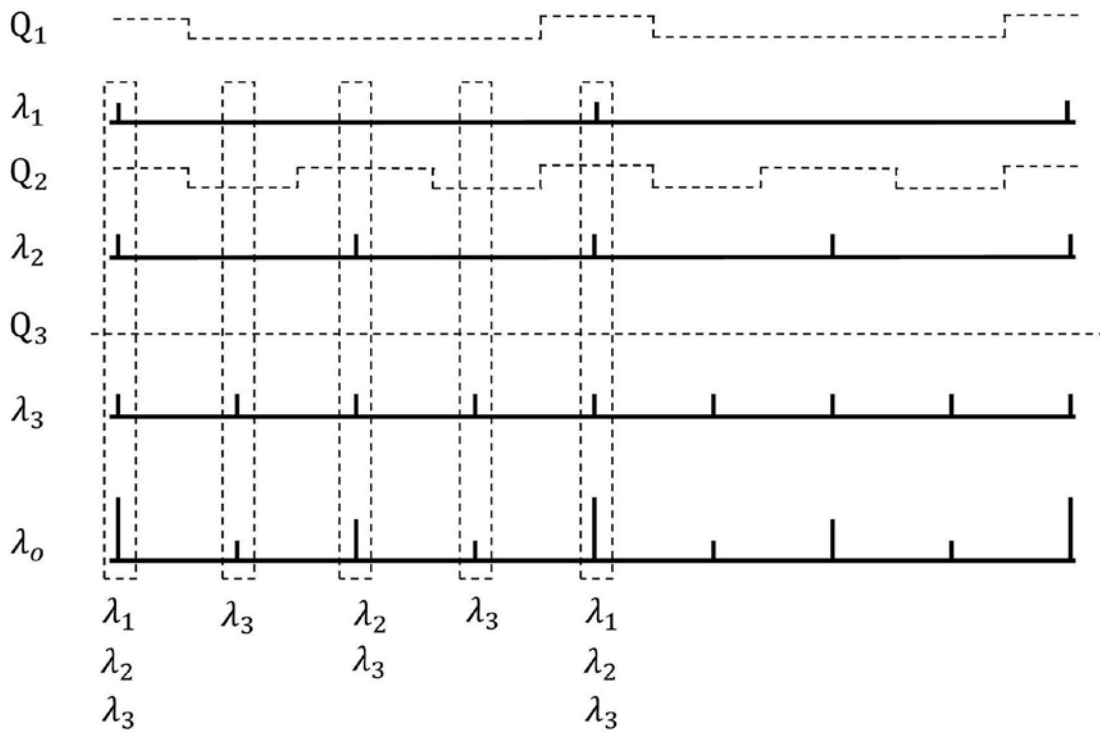


图2

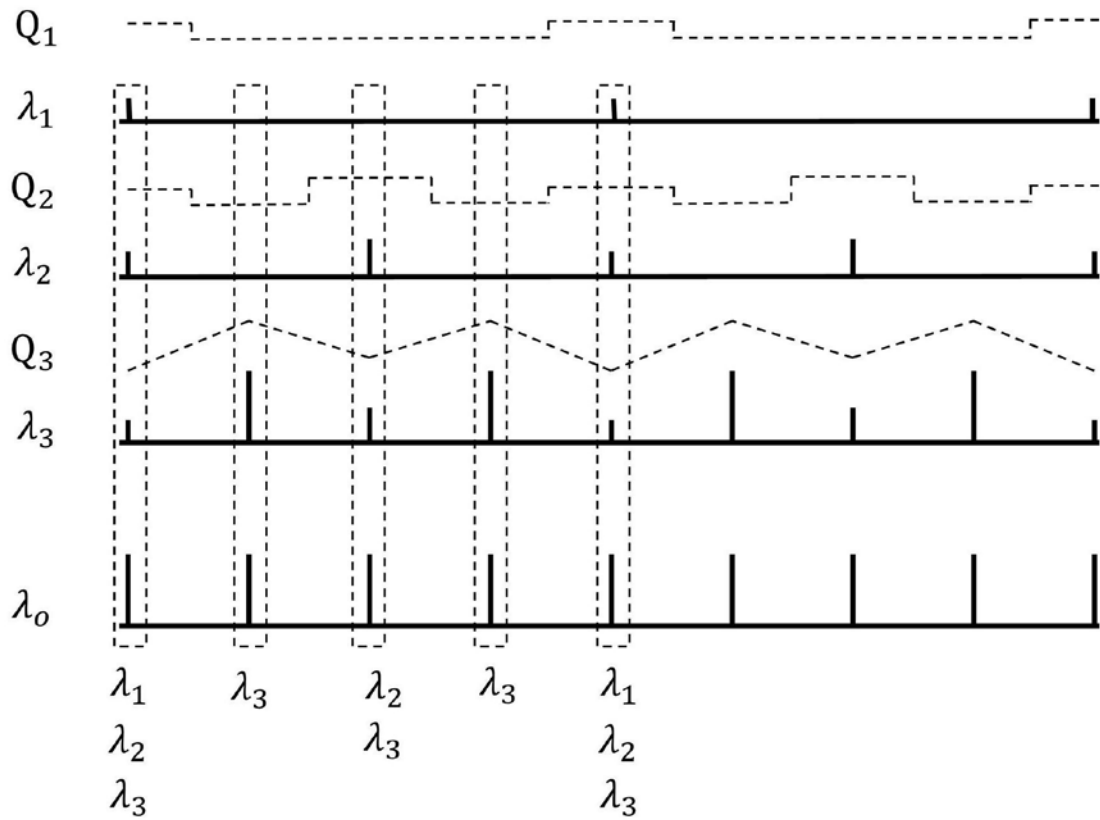


图3

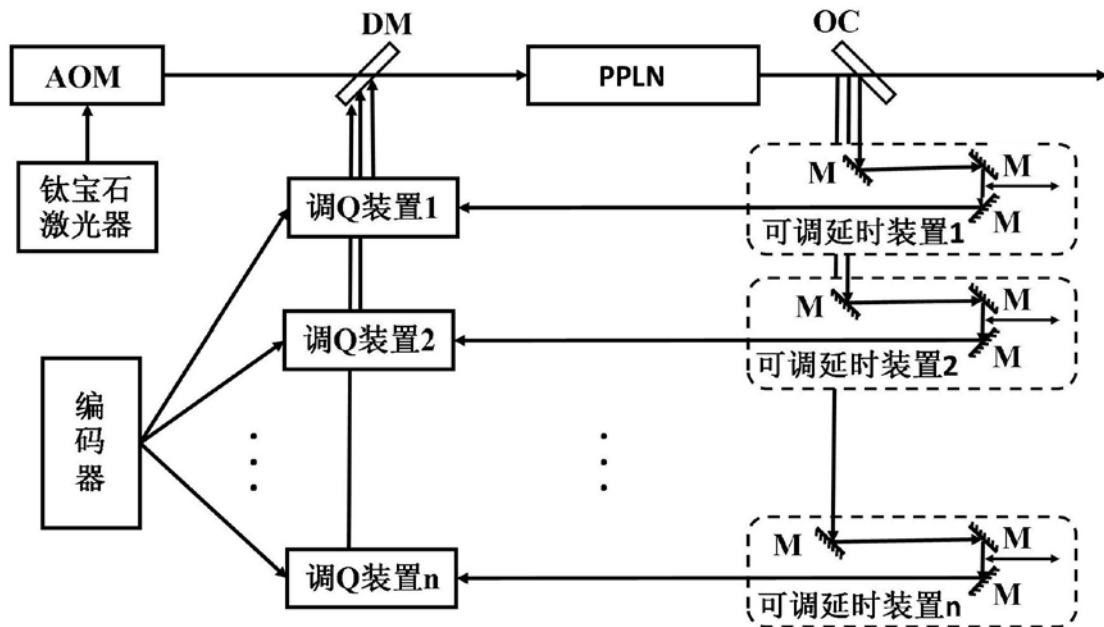


图4

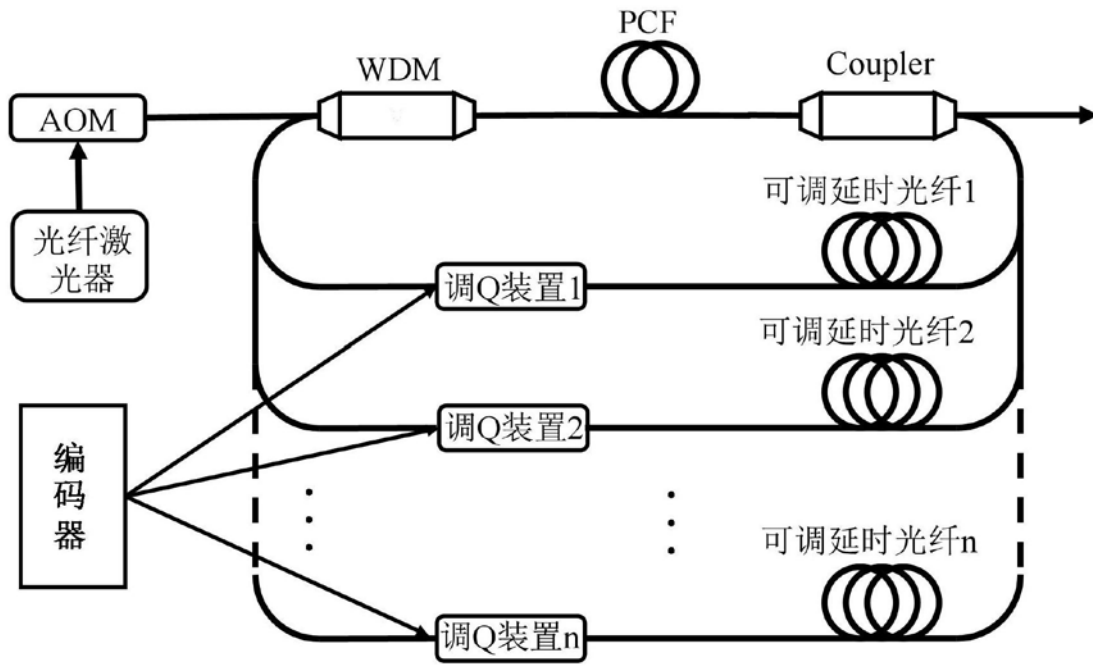


图5